
Ewa Hajduk

ŻYWNOŚĆ TRWAŁA W TEMPERATURZE POKOJOWEJ (SHELF STABLE FOODS)

W roku 1976 Leistner i Rodel [8] przedstawili ideę stworzenia nowej generacji produktów spożywczych o ogólnej nazwie *shelf stable foods*. Charakteryzują się one aktywnością wody w zawartą między 0,90 a 0,95 i wymagają dodatkowego zabezpieczenia dla uzyskania trwałości mikrobiologicznej. Oryginalność tego pomysłu polega na tym, że opiera się on na zastosowaniu kombinacji parametrów, które mogą działać synergistycznie aby powstrzymać wzrost bakterii, dając produkt trwały w temp. pokojowej, a także zmniejszając koszty w porównaniu z metodami tradycyjnymi. Stąd trwałość takiej żywności zależy od właściwej kombinacji różnych parametrów lub "przeszkód" dla rozwoju bakterii w postaci niewielkiego obniżenia a_w , pH, dodatku czynników antymikrobiologicznych, umiarkowanego ogrzewania (pasteryzacja) itd.

Punktem wyjścia przy doborze metod utrwalania jest znajomość aktywności wody, co pozwala przewidzieć na ile produkt jest stabilny mikrobiologicznie. Wymagany dla tego typu żywności poziom a_w uzyskuje się przez dodatek substancji wiążących wodę, przy czym ich ilość jest znacznie obniżona w porównaniu do tej w żywności typu IMF (o średniej zawartości wilgoci), od której wzięła ona swój początek.

W tabeli 1 przedstawiono przykłady substancji oraz ich dawki konieczne do uzyskania požądanej wielkości a_w [1].

Tabela 1

Stężenie najbardziej popularnych substancji wiążących wodę potrzebnych do obniżenia a_w przy 25°C

SUBSTANCJA ROZPUSZCZONA	stężenie w g/100g wody	
	$a_w = 0,85$	$a_w = 0,93$
chlorek posu	4,4	16,4
glikol propylenowy	51,5	25,8
glicerol	78,0	35,8
glukoza	138,1	66,0
sorbitol	147,3	68,9
sacharoza	203,9	106,4
mleczan sodu	46,5	23,2
etanol	8,0	20,5
chlorek sodu	23,6	11,9

Podniesienie "bezpiecznego" poziomu a_w od 0,85 (typowe dla IMF) do 0,93 (shelf stable food) oznacza drastyczne zmniejszenie ilości jednej z wymienionych substancji dodanej do fazy wodnej żywności. Ta redukcja wynosi około 52 - 53% dla takich substancji jak: chlorek sodu, glicerol, glukoza i oczywiście poprawia smakowitość utrwalanej żywności.

Tabela 2 pokazuje, że obniżenie a_w do około 0,93 byłoby wystarczające do zahamowania wzrostu większości bakterii patogennych [7].

Tabela 2

Minimalne a_w dla wzrostu bakterii chorobotwórczych powodujących zatrucia pokarmowe przy optymalnym pH i temperaturze

BAKTERIE PATOGENNE	a_w
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,990
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,970
<i>Clostridium botulinum</i> typ E	0,970
<i>Shigella</i> spp.	0,960
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,960
<i>Clostridium</i> typ G	0,965
<i>Clostridium botulinum</i> typ A B	0,945
<i>Clostridium perfringens</i>	0,950
<i>Vibrio parahemolyticus</i>	0,940
<i>Salmonella</i> spp	0,940
<i>Escherichia coli</i>	0,935
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,930
<i>Bacillus cereus</i>	0,930
<i>Bacillus subtilis</i>	0,910
<i>Staphylococcus aureus</i> (beztl.)	0,910
<i>Staphylococcus aureus</i> (tlen.)	0,860

Pozostałe gatunki bakterii można zinaktywować modyfikując inne parametry w postaci obniżonego pH, potencjału red-ox, łagodnego ogrzewania, czy też stosując hermetyczne zamknięcia.

Wpływ obniżenia pH w utrwalaniu żywności metodami kombinowanymi

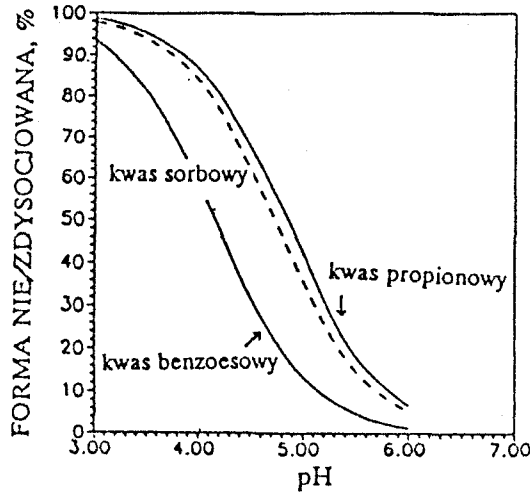
Wiadomo jest, że obniżenie pH jest efektywnym sposobem kontrolowania wzrostu mikroorganizmów. Pasteryzowane owoce o pH niższym od 4,5 są trwałe mikrobiologicznie, ponieważ formy wegetatywne są zinaktywowane przez pasteryzację, a przeżywające bakterie przetrwalnikujące są hamowane przez niskie pH. Natomiast w innych produktach jak mięso i niektóre warzywa obniżenie pH poniżej 4,5 sprawiłoby, że stałyby się one niesmaczne. Jakkolwiek dla tych produktów niewielkie obniżenie pH do 5,0 - 5,2 byłoby tolerowane (ich normalne pH = 6,0 - 6,5) i miałyby korzystne działanie w kontekście metod kombinowanych. Podniosłoby minimalną a_w dla wzrostu bakterii, obniżyłoby termiczną oporność bakterii oraz spotęgowałoby wpływ czynników antymikrobiologicznych takich jak słabe kwasy. Podniesienie granicy a_w dla bakterii (tabela 3) oznacza także mniejszą dawkę czynnika obniżającego a_w , który musi być dodany do utrwalanej żywności [4, 9, 10].

Tabela 3

Wpływ pH na zmianę minimalnej a_w dla wzrostu bakterii

S. aureus (tlenowy)	$a_w=0,894$	0,887	
	pH=5,0	6,0	
g NaCl/100g H ₂ O	17,4	21,3	
C. botulinum B	$a_w=0,997$	0,980	0,970
	pH=5,0	5,3	5,5
g NaCl/100g H ₂ O	0,6	3,52	5,28
C botulinum G	$a_w=0,990$	0,980	0,986
	pH=5,6	6,0	6,5
g NaCl/100g H ₂ O .	1,76	3,52	6,16

Substancje z grupy słabych kwasów organicznych jak propionowy, benzoesowy czy sorbowy są stosowane w celu powstrzymania rozwoju mikroorganizmów w utrwalanej żywności. Ich aktywność antybakteryjna jest zależna głównie od dysocjacji cząsteczek. Redukcja pH od 6,0 do 5,0 - 5,2 oznacza znaczny, względem wzrostu udziału formy niezdysoncjowanej (bardziej aktywnej w stosunku do mikroorganizmów) głównie dla kwasów propionowego i sorbowego (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ pH na dysocjację kwasów: benzoesowego, sorbowego i propionowego

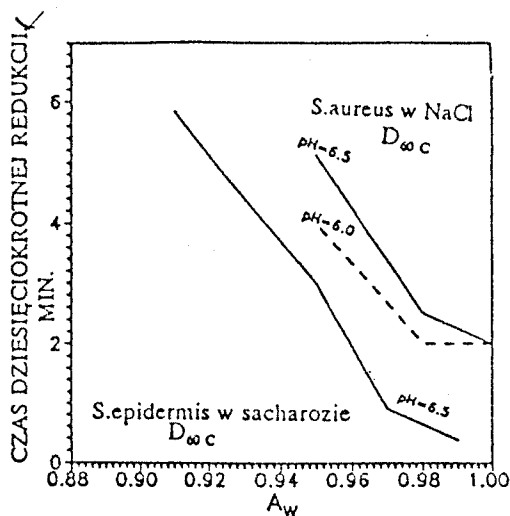
Specyficzny wpływ substancji modyfikujących a_w

Wiadomym jest, że zachowanie mikroorganizmów może być różne dla tych samych wartości a_w i zależy od rodzaju substancji wprowadzonej do środowiska w celu jej obniżenia. Stąd też mówi się o "specyficznym efekcie tej substancji".

Obrazem interakcji komórka - związek wprowadzony jest zmiana minimalnej wartości a_w pozwalającej na wzrost mikroorganizmów w zależności od charakteru dodanego związku. Fakt ten zaobserwowano dla wielu mikroorganizmów. Np. dla takich związków jak chlorek sodu czy sacharoza minimalna a_w pozwalająca na wzrost *Staphylococcus aureus* znajduje się w okolicy 0,86. Z kolei używając takich związków jak propan 1,2 diol, butan 1,3 diol, glikole polietylenowe (200 lub 400) lub alkohole wielowodorotlenowe (erytriol, xylitol) uzyskuje się minimalną a_w znacznie powyżej 0,86.

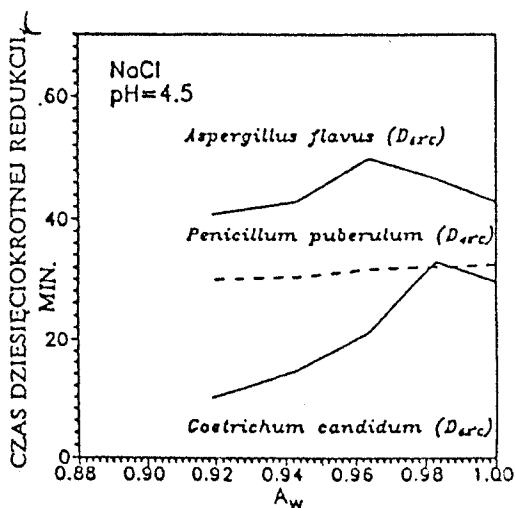
Połączenie obniżenia a_w i łagodnego ogrzewania (pasteryzacja)

Uzyskanie *shelf-stable foods* jest możliwe poprzez połączenie obniżonej a_w z pasteryzacją. W takich produktach a_w jest doprowadzona do wystarczająco niskiej wartości (np. 0,93) po to, aby zahamować wzrost większości bakterii patogennych, a następnie stosowane jest delikatne ogrzewanie w hermetycznych opakowaniach tak, aby uzyskać w dostatecznym rozmiarze inaktywację wszystkich mikroorganizmów zarodnikujących. Wiadomo, że termiczna oporność mikroorganizmów może być modyfikowana przez obecność różnych substancji w roztworze. Rys. 2 pokazuje wzrost czasu dziesięciokrotnej redukcji (D) *Staphylococcus epidermidis* i *Staphylococcus aureus* w zależności od wielkości a_w , regulowanej przez dodatek sacharozy (*S. epidermidis*) albo przez NaCl (*S. aureus*) [10, 11].



Rys. 2. Wpływ obniżenia a_w na oporność cieplną *Staphylococcus epidermidis* i *Staphylococcus aureus*

Rys. 3 ilustruje zachowanie się różnych pleśni ogrzewanych w obecności NaCl. W tym przypadku czas dziesięciokrotnej redukcji (D) zmniejsza się wraz z obniżeniem a_w od 0,98 dla *Goetrichum puberulum* i od 0,96 dla *Aspergillus flavus* [2].



Rys. 3. Wpływ obniżenia a_w na oporność cieplną wybranych rodzajów pleśni

Tabela 4 pokazuje wpływ rodzaju substancji użytej do zmiany a_w na D *Salmonella montevideo*, *Saccharomyces rouxii* i *Schizosaccharomyces pombe* [5, 6]. We wszystkich przypadkach oporność termiczna była maksymalna w roztworach sacharozy, a najmniejsza w roztworach glicerolu.

Tabela 4

Wpływ rodzaju użytej do modyfikacji a_w substancji na czas dziesięciokrotnej redukcji (D)

SUBSTANCJA ROZPUSZCZONA	SCHIZ. POMBE D(min) (65°C)	SACCH. ROUXII D(min) (65°C)	S. MONTEVIDEO D(min) (57,2°C)
sacharoza	1,48	2,00	16,5
sorbitol	0,73	0,90	5,5
glukoza	0,41	0,40	-
fruktoza	0,27	0,40	1,3
glicerol	0,21	0,28	1,2

Dane w tabeli 5 pokazują że NaCl przy $a_w = 0,93$ zmniejsza wartość D dwóch rodzajów drożdży, sacharoza natomiast zwiększa oporność cieplną [3].

Podsumowując, kiedy używa się sacharozy do redukcji a_w do 0,93 należy spodziewać się zwiększonej oporności termicznej drobnoustrojów, natomiast kiedy NaCl lub glicerol są

substancjami kontrolującymi a_w , wówczas ciepłooporność termiczna zależy od rodzaju mikroorganizmu.

Tabela 5

Wpływ aktywności wody (a_w) na inaktywację cieplną niektórych drożdży

DROŹDŹE	a_w	D(min)
Rhodotorula rubra	0,99 0,93 ^d	38 ^b 10 ^b
Saccharomyces cerevisiae	0,99 0,93 ^d	21 ^b 13 ^b
Torulopsis globosa	0,99 0,94 ^e	<0,1 ^c 1,5 ^c

^b 51°C

^c 55°C

^d a_w modyfikowana przy pomocy NaCl

^e a_w modyfikowana przy pomocy sacharozy

"Efekt przeszkód" a trwałość żywności

Fakt, że wiele czynników bierze udział w zachowaniu stabilności i bezpieczeństwa żywności określa się jako "efekt przeszkód" (hurdle effect).

Do utrwalenia żywności stosuje się wiele procesów np.: ogrzewanie, chłodzenie, zamrażanie, liofilizację, suszenie, solenie, cukrzenie, kwaszenie, fermentację, wędzenie lub usuwanie tlenu, które oparte są na stosunkowo niewielu parametrach takich jak: wysoka temperatura (F-value), niska temperatura (t-value), a_w , pH, potencjał red-ox, konserwanty chemiczne i mikroflora konkurencyjna.

Z efektu przeszkód została wypracowana *technologia przeszkód*, która znalazła praktyczne

zastosowanie przy opracowywaniu nowych produktów żywnościowych jak również ich kontroli.

Dzięki tej technologii uzyskano m.in. bardziej atrakcyjną żywność dla zwierząt domowych (koty, psy). W poprzednio produkowanej a_w wynosiła 0,85, co wymagało dodatku dużej ilości glikolu propylenowego, który mógł powodować komplikacje zdrowotne u kotów. Teraz jednak dzięki "technologii przeszkód" żywność ta jest stabilna już przy $a_w=0,94$, jest zdrowsza, smaczniejsza i ekonomiczniejsza.

Nowe produkty mogą być opracowywane pod kątem np. oszczędności energetycznych, które uzyskuje się zastępując zamrażanie parametrami nie wymagającymi nakładów energetycznych takimi jak: obniżona aktywność wody, zmniejszone pH i potencjał red-ox. Jeżeli z kolei chcemy zmniejszyć ilość lub zrezygnować z konserwantów chemicznych, jak azotyny w mięsie, możemy położyć nacisk na takie parametry, jak a_w , pH, mrożenie lub mikroflorę konkurencyjną, które stabilizowałyby produkt.

Kontrola żywności mogłaby być oparta o fizyczne i chemiczne pomiary "przeszkód" w niej występujących, a następnie o komputerową ocenę wyników.

"Shelf stable products" (SSP) przetrzymywanie bez zamrażania

W chwili obecnej terminem SSP "shelf stable products" określa produkty mięsne o wysokiej zawartości wody ($a_w>0,9$), które zachowują trwałość w okresie od kilku tygodni do kilku miesięcy bez stosowania obniżonej temperatury pomimo tylko łagodnego ogrzewania.

Stabilność żywności bez jej zamrażania ma znaczenie zarówno w krajach rozwijających się, jak i rozwiniętych. W krajach rozwijających się zamrażanie nie jest łatwo dostępne, a w uprzemysłowionych żywność nie wymagająca zamrażania obniża koszty poprzez oszczędność energii w czasie dystrybucji i składowania. Co więcej, łagodne traktowanie ciepłem jest korzystne, ponieważ sprzyja zachowaniu właściwości sensorycznych i odżywczych produktu.

W zależności od "przeszkód", które odgrywają dominującą rolę w zachowaniu stabilności danego produktu czy grupy produktów wyróżniamy: F-SSP, a_w -SSP, pH-SSP i kombinowane-SSP. Stabilność F-SSP jest spowodowana cieplną inaktywacją lub uszkodzeniem subletalnym przetrwalników bakteryjnych, w a_w -SSP - obniżeniem aktywności wody, w pH-SSP - zwiększoną kwasowością i w kombinowanych-SSP wieloma "przeszkodami" zrównoważonymi ze sobą. Do tej pory idea SSP została zastosowana głównie do produktów mięsnych, lecz z pewnością mogłaby być użyteczna również dla

innych. Pojawia się więc nowe pole do działania dla technologów żywności.

LITERATURA

1. Benmergui E. A., Ferro Fontan C., Chirife J.: The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods. 1. Prediction in single aqueous electrolyte solutions. *J. Food Technol.*, 14, 1979, s. 625.
2. Beuchat L. R.: Combined effects of solutes and food preservatives on rates of inactivation and of colony formation by heated spores and vegetative cells of molds. *Applied Environ. Microbiol.* 41, 1981, s. 472.
3. Beuchat L. R.: Influence of water activity on growth metabolic activities and survival of yeast and mold. *J. Food Protect.* 46, 1983, s. 135.
4. Briozo J., Lagarde E. A., de Chirife J., Parada J. L.: Effect of water activity and pH on growth and toxin production by *Clostridium botulinum* type G. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51, 1986, s. 844.
5. Corry J. E. L.: The effect of sugars and polyols on the heat resistance and morphology of osmophilic yeasts. *J. Appl. Bacteriol.* 40, 1976, s. 269.
6. Goepfert J. M., Iskander K. I., Amundson C. H.: Relation of the heat resistance of *Salmonellae* to the water activity of the environment. *Appl. Microbiol.* 19, 1970, s. 429.
7. Chirife J., Favetto G.J. : Some physical-chemical basis of food preservation by combined methods, *Food Research International* 1992, 25, 389 - 396.
8. Leistner L., Rodel W.: Inhibition of microorganisms in food by water activity. In *Inhibition and Inactivation of Vegetative Microbes*, ed. F. A. Skinner, W. B. Hugo, Academic press, London, 1976, s. 219.
9. Sperber W. H.: Requirements of *Clostridium botulinum* for growth and toxin production. *Food Technol.*, 36, 1982, s. 89.
10. Troller J. A.: Effect of a_w and pH on growth and survival of *Staphylococcus aureus*. In *Properties of Water in Foods*, ed. D. Simatos, J. L. Multon. Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1985, s. 247.
11. Verrips C. T., Van Rhee R.: Heat inactivation of *Staphylococcus epidermidis* at various water activities. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41, 1981, s. 1128.